

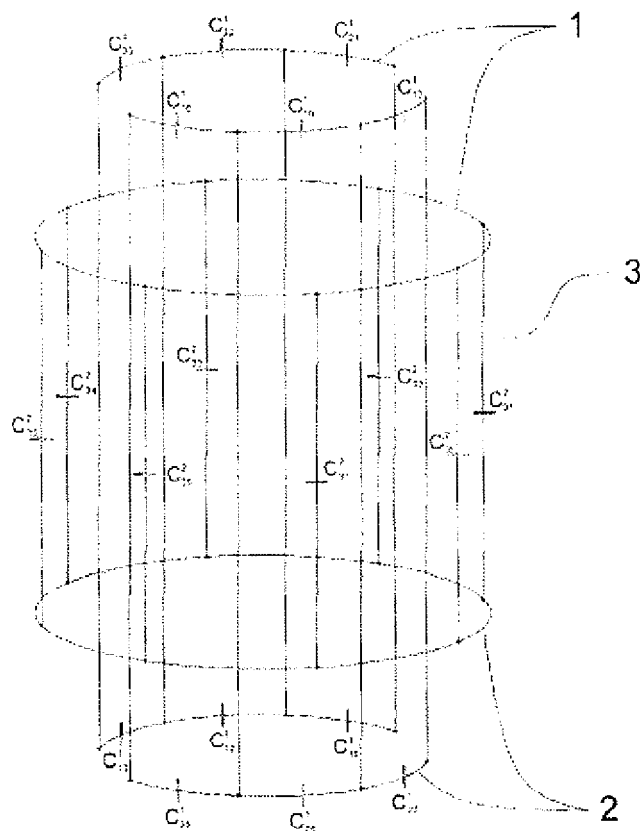
**Nuclear magnetic resonance device with a static magnetic field, which is also capable of operating with two resonance frequencies has an arrangement of eigen frequencies that enables better frequency damping**

**Patent number:** DE10109489  
**Publication date:** 2001-10-11  
**Inventor:** LANZ TITUS (DE); WEISSER ALEXANDER (DE)  
**Applicant:** RAPID BIOMEDICAL BIOMEDIZINISC (DE)  
**Classification:**  
- international: **G01R33/34; G01R33/36; G01R33/34; G01R33/32;**  
(IPC1-7): G01R33/32  
- european: G01R33/34  
**Application number:** DE20011009489 20010228  
**Priority number(s):** DE20011009489 20010228; DE20001016043 20000331

[Report a data error here](#)

**Abstract of DE10109489**

Magnetic resonance device has four or more axial conductors for each resonance frequency, with each frequency having the same number of conductors. System impedances are connected to either set of conductors such that each has its own eigen-frequency. The impedances of the first system are chosen such that its oscillation is suppressed, while the second frequency system has two equivalent orthogonal oscillations.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide





21 Aktenzeichen: 101 09 489.2  
22 Anmeldetag: 28. 2. 2001  
43 Offenlegungstag: 11. 10. 2001

66 Innere Priorität:  
100 16 043. 3 31. 03. 2000

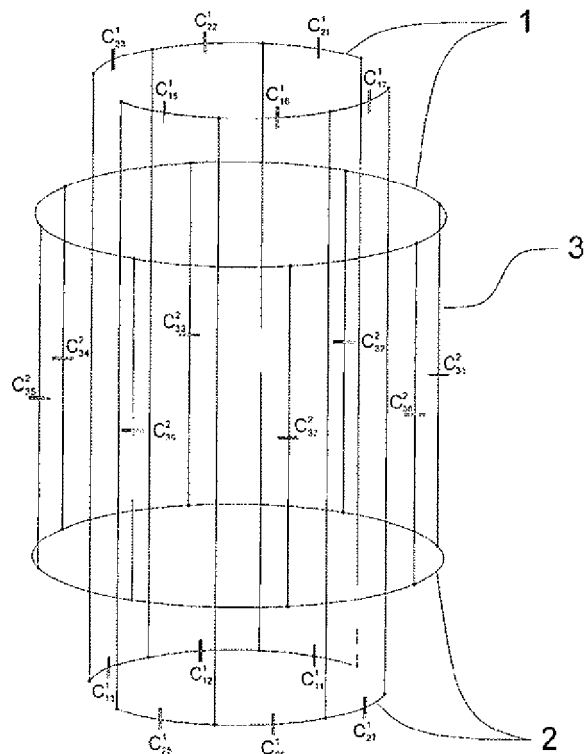
71 Anmelder:  
Rapid Biomedical Biomedizinische Geräte GmbH,  
97074 Würzburg, DE

72 Erfinder:  
Lanz, Titus, 97074 Würzburg, DE; Weisser,  
Alexander, 97288 Theilheim, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Spinresonanzgerät mit einem statischen Magnetfeld

57 Spinresonanzmeßgerät zur Erzeugung eines zu einem statischen Magnetfeld senkrechten magnetischen Wechselfeldes mit zwei elektromagnetischen Eigenfrequenzen, wobei in Längsrichtung des statischen Magnetfeldes auf zwei einander umschließenden Zylindermänteln, die auch identisch sein können, axial verlaufende Leitungen (3) flächige Wechselströme der Eigenfrequenzen als stehende Wellen der Periode  $2\pi$  über den Azimut approximieren, wobei an den Grundflächen der Zylinder zwischen diesen Axialleitungen Verbindungsleitungen (1, 2) angeordnet sind und/oder die Enden der Axialleitungen durch Verbindungsleitungen (4, 5, 7) mit zusätzlichen Axialleitungen (6, 8) verbunden sind, sowie in einigen oder auch in allen Leitungen Impedanzen eingebaut sind, wobei ein Teil der Impedanzen zusammen mit den Leitungen des ersten Zylinders ein resonantes System für die erste Eigenfrequenz bildet und die Impedanzen dieses resonanten Systems derart verändert sind, daß eine zur Eigenschwingung äquivalente, orthogonale Eigenschwingung unterdrückt wird, und ein Teil der Impedanzen zusammen mit den Leitungen des zweiten Zylinders ein resonantes System für die zweite Eigenfrequenz bildet, wobei die zugehörige Eigenschwingung orthogonal zur Eigenschwingung des ersten Systems ist.



**[0001]** Die Erfindung betrifft Meßgeräte zur orts aufgelösten magnetischen Kernresonanz (Nuclear Magnetic Resonance = NMR). Mit Hilfe der NMR können unter Nutzung des  $^1\text{H}$ -NMR-Signals Bilder und Spektren aus dem Inneren z. B. biologischer Objekte gewonnen werden. Hierzu werden Spinresonanzmeßgeräte mit einem statischen Magnetfeld, Magnetfeldgradienten und Resonatoren, deren Eigenfrequenz der  $^1\text{H}$ -NMR-Resonanzfrequenz entspricht, verwendet. Neben dem  $^1\text{H}$ -NMR-Signal können auch Signale anderer Atomkerne (z. B.  $^{31}\text{P}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{19}\text{F}$ ,  $^{23}\text{Na}$ , etc.) gemessen werden, wenn Resonatoren eingesetzt werden, deren Eigenfrequenzen diesen NMR-Resonanzfrequenzen entsprechen. Für simultane NMR-Untersuchungen mehrerer Atomkerne sind deshalb Resonatoren nötig, die mehrere Eigenfrequenzen besitzen.

**[0002]** Die Erfindung bezieht sich auf ein Spinresonanzmeßgerät mit einem statischen Magnetfeld und einer Vorrichtung zur Erzeugung dazu senkrechter magnetischer Wechselfelder bei zwei Resonanzfrequenzen, wobei in Längsrichtung des statischen Magnetfeldes auf zwei Zylindermänteln axial verlaufende und azimuthal in der Regel äquidistant angeordnete Leitungen flächigen Wechselstrom der Resonanzfrequenzen als stehende Wellen mit einer über den Azimut periodischen Amplitudenverteilung der Periode  $2\pi$  approximieren, wobei entweder an den Grundflächen der Zylinder zwischen den axialen Leitungen Verbindungsleitungen angeordnet sind und/oder aber die Enden der axialen Leitungen durch Verbindungsleitungen mit ebenfalls axial verlaufenden, möglicherweise untereinander verbundenen, auf einem weiteren, konzentrisch weiter außen gelegenen Zylindermantel liegenden Leitungen, verbunden sind, wobei die axialen Leitungen und/oder Verbindungsleitungen eine Kapazität aufweisen.

**[0003]** Ein statisches Magnetfeld bewirkt eine Aufspaltung der Energieniveaus von Atomkernen oder Hüllenelektronen in Abhängigkeit von ihrer Spinorientierung relativ zum Magnetfeld. Zur Anregung der Kerne oder Elektronen wird senkrecht dazu ein magnetisches Wechselfeld erzeugt. Bei einem statischen Magnetfeld einer bestimmten Stärke ist die Anregungsenergie, und damit auch die erforderliche Frequenz des magnetischen Wechselfeldes, von der Atomkernsorte und dem Aufbau der zu messenden Moleküle abhängig, so daß häufig Geräte gefordert sind, die die Erzeugung magnetischer Wechselfelder unterschiedlicher Frequenzen erlauben. Zur Erzeugung sowohl statischer Magnetfelder als auch magnetischer Wechselfelder sind Spulen aus elektrisch leitenden oder supraleitenden Materialien geeignet, die sich bei entsprechender Auslegung sowohl durch eine hohe Magnetfeldstärke als auch gegebenenfalls durch eine hohe Homogenität des Magnetfeldes auszeichnen. Diese Eigenschaften werden insbesondere beim statischen Magnetfeld angestrebt. Prinzipiell ist es möglich, beide Magnetfelder mit einer Spule zu erzeugen, was jedoch, bedingt durch die erforderliche Ausrichtung senkrecht zueinander, konstruktive Probleme mit sich bringt. Die Tatsache, daß ein kreisförmiger Zylindermantel mit einem axialen Flächenstrom, dessen Stromdichteverteilung über den Azimut einer Sinusfunktion mit Periode  $2\pi$  entspricht, ein homogenes Magnetfeld hervorruft, das senkrecht zur Längsrichtung verläuft, eröffnet eine Möglichkeit zur Lösung dieser Problematik. Prinzipiell ist es auch bei Zylinderformen mit anderen Grundflächen möglich, zur Zylinderachse orthogonale, homogene Magnetfelder zu erzeugen, indem der axiale Flächenstrom eine von der Sinusfunktion abweichende Stromdichteverteilung erhält. Die zueinander senkrechten Magnetfelder sind daher durch eine Spule und einen coaxial

dazu angeordneten Zylindermantel realisierbar. Zur Approximation der beschriebenen Stromdichteverteilung auf dem Zylindermantel ist beispielsweise die Birdcage-Resonatorgeometrie und auch die TEM-Resonatorgeometrie bekannt, in der mehrere axial verlaufende Leitungen in azimuthaler Richtung äquidistant auf einem Kreiszyllindermantel angeordnet sind. Für eine möglichst exakte Approximation, und damit eine hohe Homogenität des magnetischen Wechselfeldes, ist eine möglichst hohe Anzahl von axial verlaufenden Leitungen angestrebt. Zur Erzeugung dieser Stromverteilung sind die axial verlaufenden Leitungen an ihren Enden entweder entlang eines Kreisbogens verbunden, oder aber die axialen Leitungen sind über weitere zylindrisch angeordnete axiale Leitungen miteinander verbunden und die axialen Leitungen und/oder die zwischen ihren Enden angeordneten Verbindungsleitungen sind mit Kondensatoren bestückt. Zusammen mit den Induktivitäten der Leitungen in den axial verlaufenden Leitungen wird ein Stromstärkeverlauf über den Azimut hervorgerufen, der einer Sinusfunktion nahe kommt. Im zeitlichen Verlauf beschreiben die Stromstärken in den axialen Leitungen stehende Wellen mit einer azimuthalen Periodenlänge von  $2\pi$ , deren Amplituden relativ zueinander in etwa dem beschriebenen Sinusverlauf entspricht. Durch die Symmetrie des Spinresonanzmeßgerätes bezüglich einer azimuthalen Drehung um  $90^\circ$  existiert weiterhin die Möglichkeit, daß die Stromstärken in den axialen Leitungen eine zweite stehende Welle beschreiben, deren Amplitude einer im Vergleich zur ersten stehenden Welle azimuthal um  $90^\circ$  verdrehten Sinusverteilung nahe kommt, wobei die beiden stehenden Wellen unabhängig voneinander erzeugt werden können. In solchen Spinresonanzmeßgeräten ist der sogenannte Quadraturbetrieb möglich, für den die Leitungen mit zwei sowohl azimuthal als auch in der zeitlichen Phase um  $90^\circ$  verschobenen Wechselspannungen gleicher Frequenz beaufschlagt werden. In den axial verlaufenden Drähten entstehen Stromverteilungen relativ zueinander, die im zeitlichen Verlauf eine in azimuthaler Richtung umlaufende Welle wiedergeben. Das dadurch erzeugte Magnetfeld ist zirkular polarisiert, und seine Richtung dreht sich im zeitlichen Verlauf um die Zylinderachse. Durch den Quadraturbetrieb eines Spinresonanzmeßgerätes steigt die effektiv genutzte Leistung des magnetischen Wechselfeldes.

**[0004]** In IEEE Transactions on medical Imaging, Volume 8, No. 3, S. 286-294 (1989) wird eine Vorrichtung zur Erzeugung des magnetischen Wechselfeldes in der Birdcage-Resonatorgeometrie mit axial verlaufenden Leitungen vorgeschlagen, die mit unterschiedlichen Frequenzen betrieben werden kann. Nachteilig ist jedoch, daß die beiden Eigenfrequenzen nahe beieinander liegen müssen, da sonst die sinusförmige Stromstärkeverteilung verzerrt wird. Außerdem ist eine Analyse der Magnetfeldcharakteristik derartiger Vorrichtungen nur schwer möglich, was Modifikationen beispielsweise durch gezielte Veränderung der Kapazitäten erheblich erschwert.

**[0005]** In Concepts in Magnetic Resonance, Volume 12, No. 6, (2000) wird auf Seite 379 ebenfalls eine Vorrichtung zur Erzeugung des magnetischen Wechselfeldes in einer von der Birdcage-Resonatorgeometrie abgeleiteten Resonatoranordnung vorgeschlagen, die mit unterschiedlichen Frequenzen betrieben werden kann. Nachteilig ist hier jedoch, daß das Volumen, das zur Untersuchung der einen Atomkernsorte verwendet werden kann, nicht deckungsgleich mit dem Volumen ist, das zur Untersuchung der anderen Atomkernsorte zur Verfügung steht. Weiterhin ist die Homogenität des magnetischen Wechselfeldes bei zumindest einer der beiden Meßfrequenzen gegenüber vergleichbaren, konventionellen Birdcage-Resonatoren, die nur zur Untersuchung

einer Atomkernsorte geeignet sind, stark vermindert.

[0006] In der Deutschen Patentanmeldung 198 44 259.9 wird ebenfalls eine Vorrichtung zur Erzeugung des magnetischen Wechselfeldes in der Birdcage-Resonatorgeometrie vorgeschlagen, die mit unterschiedlichen Frequenzen betrieben werden kann. Nachteilig ist hier jedoch, daß durch die kleine Anzahl von nur vier axial verlaufenden Leitungen die Homogenität des magnetischen Wechselfeldes eingeschränkt ist.

[0007] In Magnetic Resonance in Medicine, Volume 30, S. 107-114 (1993) werden zwei der oben beschriebenen Spinresonanzmeßgeräte in der Birdcage-Resonatorgeometrie mit unterschiedlichen Eigenfrequenzen konzentrisch angeordnet, so daß das magnetische Wechselfeld bei beiden Ligenfrequenzen in Quadraturbetrieb erzeugt werden kann. Nachteilig ist jedoch, daß bei der höheren der beiden Ligenfrequenzen die Stärke des magnetischen Wechselfeldes im Inneren der beiden Spinresonanzmeßgeräte stark reduziert ist, weil diese gegenphasige magnetische Wechselfelder erzeugen.

[0008] Die Erfindung hat sich demgegenüber zur Aufgabe gestellt, ein Spinresonanzmeßgerät der eingangs beschriebenen Art zu schaffen, in dem eine Vorrichtung magnetische Wechselfelder mit zwei Frequenzen erzeugt, die weit auseinanderliegen können und die in einer Meßreihe gleichzeitig eingesetzt werden können, bei dem eine Analyse der Eigenschwingungen und Eigenfrequenzen für eventuelle Modifikationen einfach möglich ist, bei dem außerdem die Homogenität des magnetischen Wechselfeldes nicht durch eine geringe Anzahl axial verlaufender Leitungen limitiert ist und bei dem zudem die magnetischen Wechselfelder bei beiden Frequenzen im Vergleich zu vergleichbaren Spinresonanzmeßgeräten mit nur einer Frequenz nicht abgeschwächt sind.

[0009] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß zwei Spinresonanzmeßgeräte ineinander eingeführt werden, wobei das erste Spinresonanzgerät zwei zueinander orthogonale elektromagnetische Eigenschwingungen besitzt, die bei Anregung mit der entsprechenden Resonanzfrequenz die Approximation der in der jeweiligen Zylindergeometrie notwendigen Flächenstromdichte besitzen, dagegen bei dem zweiten Spinresonanzmeßgerät, das prinzipiell auch zwei entsprechende elektromagnetische Eigenschwingungen mit resultierendem magnetischen Wechselfeld hätte, tatsächlich aber Impedanzen in der Art verändert werden, daß eine der beiden zueinander um 90° verdrehten Eigenschwingungen dieses zweiten Spinresonanzmeßgerätes unterbunden wird, so daß das magnetische Wechselfeld des ersten Spinresonanzmeßgerätes in Richtung der unterbundenen Eigenschwingung des zweiten Spinresonanzmeßgerätes keine Abschwächung durch dessen gegenphasiges Mitschwingen erleidet, gleichzeitig aber das zweite Spinresonanzmeßgerät in Richtung seiner einzig verbleibenden Eigenschwingung keine Abschwächung des magnetischen Wechselfeldes erfährt, da das erste Spinresonanzmeßgerät gleichphasig mitschwingt. Dieses Gerät wird im folgenden "Crosscage-Resonator" genannt.

[0010] Ausgehend von der zutreffenden Vorstellung, daß zur Erreichung eines möglichst effizienten magnetischen Wechselfeldes der Quadraturbetrieb eines Spinresonanzmeßgerätes angestrebt wird, erweist sich der Gedanke, die Möglichkeit des Quadraturbetriebes aufzugeben, als konträr. Der Erfindung liegt die entscheidende Erkenntnis zugrunde, daß nur mit dieser Bauweise die Abschwächung des magnetischen Wechselfeldes durch gegenphasige Schwingungszustände und damit gegenphasige Stromverteilungen der beiden Spinresonanzmeßgeräte vollständig vermieden werden kann und somit der Verlust an magnetischer Wech-

selfeldstärke verhindert werden kann. Diese Bauart ist notwendig, da aufgrund induktiver und kapazitiver Kopplung zwei unmodifizierte Spinresonanzmeßgeräte mit jeweils zwei Eigenschwingungen mit azimuthal sinusförmiger Stromverteilung nicht so kombiniert werden können, daß sie unabhängig voneinander betrieben werden könnten. Bei der Resonanzfrequenz eines der beiden Spinresonanzmeßgeräte schwingen die beiden Spinresonanzmeßgeräte gleichphasig, wodurch die Stärke des magnetischen Wechselfeldes nicht beeinträchtigt würde. Bei der Resonanzfrequenz des anderen Spinresonanzmeßgerätes hingegen schwingen die beiden Spinresonanzmeßgeräte gegenphasig und das resultierende magnetische Wechselfeld wäre entsprechend abgeschwächt, solange das gegenphasige Schwingen nicht durch hauliche Veränderung unterbunden wird. Entscheidend ist also, daß bei zumindest einem der beiden Spinresonanzmeßgeräte eine der beiden stehenden Wellen mit resultierendem homogenem magnetischen Wechselfeld unterbunden wird. Erst dadurch kann das zweite Spinresonanzmeßgerät in Richtung dieser unterbundenen stehenden Welle ein homogenes magnetisches Wechselfeld erzeugen, das durch die Präsenz des ersten Spinresonanzmeßgerätes nicht abgeschwächt wird. Vorteilhaft ist, daß die Anzahl der axialen Leitungen bei dieser Bauart nicht begrenzt ist und damit die Homogenität des magnetischen Wechselfeldes prinzipiell nicht eingeschränkt ist, weil eine über den Azimut flächige Stromverteilung der Periode  $2\pi$  durch eine hohe Anzahl axialer Leitungen theoretisch beliebig genau approximiert werden kann. Wichtig ist, daß die Erfindung keiner Begrenzung bezüglich des Verhältnisses der beiden Frequenzen unterliegt, bei denen das Spinresonanzmeßgerät betrieben werden soll. Eine aufwendige numerische Simulation der Kapazitätswerte für die Einstellung der beiden Resonanzfrequenzen ist nicht nötig. Beide Frequenzen können aufgrund der Orthogonalität der beiden genutzten Eigenschwingungen unabhängig voneinander eingestellt und betrieben werden.

[0011] Für den Aufbau der Vorrichtung zur Erzeugung des magnetischen Wechselfeldes bestehen verschiedene Möglichkeiten, die sich in der Wahl eines bestimmten Resonatortyps für jedes einzelne der beiden resonanten Systeme unterscheiden. Prinzipiell ist für die Ausführung der Erfindung jeder Resonator mit Zylindergeometrie denkbar, der zwei elektromagnetische Eigenschwingungen aufweist, die untereinander und zur Zylinderachse orthogonale magnetische Wechselfelder sind. In einem Crosscage-Resonator werden nun zwei beliebige Resonatoren ineinander eingeführt. Einer der beiden Resonatoren wird dabei haulich so verändert, daß er nur noch eine einzige Eigenschwingung besitzt, die einen für die benutzte Resonatorgeometrie jeweils notwendigen flächigen Wechselstrom der Periode  $2\pi$  approximiert. Das so entstandene Resonatorsystem kann bei zwei voneinander unabhängigen Resonanzfrequenzen betrieben werden. In Richtung der im ersten Resonator unterdrückten Eigenschwingung schwingt der andere Resonator unbeeinflusst von der Eigenschwingung des ersten Resonators. Bei der anderen für die NMR-Messung nutzbaren Eigenschwingung, die zur ersten um 90° azimuthal verdreht ist, koppeln die beiden einander umschließenden Resonatoren induktiv über ihre magnetischen und kapazitiv über ihre elektrischen Wechselfelder. Bei der entstehenden kombinierten Eigenschwingung der beiden Resonatoren schwingen sie in Phase, das heißt, ihre magnetischen Wechselfelder im gemeinsamen Innenvolumen verstärken sich.

[0012] Beispiele für solche monoresonanten Resonatoren mit zwei orthogonalen Eigenschwingungen sind Birdcage-Resonatoren und TEM-Resonatoren.

[0013] Konventionelle Birdcage-Resonatoren bestehen aus mindestens zwei axialen, gleich langen Leitungen, die

auch Birdcage-Beine genannt werden und die azimuthal äquidistant auf einem Kreiszylindermantel angeordnet sind, und zwei kreisförmigen Verbindungsleitungen, die auch Birdcage-Endringe genannt werden und die die Enden der axialen Leitungen jeweils untereinander verbinden. Die Eigenschwingungen dieser konventionellen Birdcage-Resonatoren approximieren eine über den Azimut sinusförmige Stromamplitudenverteilung der Periode  $2\pi$ . Die konventionellen Birdcage-Resonatoren untergliedern sich wiederum in drei prinzipiell verschiedene Bauarten: den Hochpaß-Birdcage-Resonator, den Tiefpaß-Birdcage-Resonator und den Bandpaß-Birdcage-Resonator.

**[0014]** Der Hochpaß-Birdcage-Resonator zeichnet sich dadurch aus, daß in den Birdcage-Endringen in jedem zwischen zwei Birdcage-Beinen liegenden Endringsegment Kapazitäten eingebaut sind. Die Birdcage-Beine dagegen enthalten keine Kapazitäten. Infolge dieser Bauweise sind die Impedanzen der Endringsegmente kapazitiv dominiert, während die Birdcage-Beine eine hauptsächlich induktive Impedanz besitzen.

**[0015]** Der Tiefpaß-Birdcage-Resonator zeichnet sich dadurch aus, daß alle Birdcage-Beine Kapazitäten enthalten. Die Birdcage-Endringsegmente dagegen enthalten keine Kapazitäten. Infolge dieser Bauweise sind die Impedanzen der Birdcage-Beine kapazitiv dominiert, während die Birdcage-Endringsegmente eine hauptsächlich induktive Impedanz besitzen.

**[0016]** Der Bandpaß-Birdcage-Resonator zeichnet sich dadurch aus, daß alle Birdcage-Beine und alle Birdcage-Endringsegmente Kapazitäten enthalten.

**[0017]** TEM-Resonatoren, wie sie in der NMR eingesetzt werden, besitzen N, meistens mehr als vier, mindestens jedoch zwei axiale Leitungen, die azimuthal äquidistant auf einem Kreiszylindermantel angeordnet sind. Auf einem weiteren, dazu konzentrischen Kreiszylindermantel größeren Durchmessers sind weitere N axiale Leitungen angeordnet. Hierdurch entstehen N Paare von axialen Leitungen, wobei die Enden eines jedes Paares von axialen Leitungen durch radiale Leitungen verbunden sind. In jedem dieser so entstandenen Leiterschleifen ist mindestens eine Kapazität eingebaut, so daß sich N elektrische Schwingkreise ergeben. Diese N Schwingkreise sind untereinander induktiv über ihre magnetischen und kapazitiv über ihre elektrischen Wechselfelder gekoppelt. Eine zusätzliche Kopplung kann über zusätzliche Impedanzen erfolgen, die zwischen die einzelnen Schwingkreise eingebaut werden. Eine spezielle Bauweise des TEM-Resonators beispielsweise koppelt die Schwingkreise über die gesamte Länge der äußeren axialen Leitungen und der radialen Leitungen mittels einer flächigen elektrischen Leitung. Bei dieser Bauweise sind die Kapazitäten der Schwingkreise in den inneren axialen Leitungen angebracht, in den sogenannten Resonator-Beinen. Die Eigenschwingungen dieser konventionellen TEM-Resonatoren approximieren ebenfalls eine über den Azimut sinusförmige Stromamplitudenverteilung der Periode  $2\pi$ .

**[0018]** Aufgrund der azimuthalen Symmetrie aller Bauweisen des konventionellen Birdcage-Resonators und des konventionellen TEM-Resonators besitzt jede dieser Bauarten jeweils zwei elektromagnetische Eigenschwingungen, die eine über den Azimut sinusförmige Amplitudenverteilung der Ströme und elektrischen Potentiale mit der Periode  $2\pi$  approximieren. Diese Eigenschwingungen erzeugen beide im Zentrum des jeweiligen Resonators homogene, transversale magnetische Wechselfelder, die allerdings zueinander orthogonal sind. Diese Orthogonalität der beiden Wechselfelder kann dazu genutzt werden, die zur Anregung der Atomkerne nötige Leistung mittels des Quadraturbetriebes des Resonators zu vermindern, wenn die beiden Eigen-

schwingungen die gleiche Eigenfrequenz besitzen. Desgleichen kann die Existenz einer orthogonalen Eigenschwingung der gleichen Eigenfrequenz genutzt werden, um einen zweiten, vom ersten unabhängigen Empfangskanal an den Resonator anzuschließen, wodurch die Meßempfindlichkeit erhöht werden kann.

**[0019]** Eine mögliche Ausführung des Crosscage-Resonators ist nun eine Kombination eines Birdcage-Resonators mit einem Birdcage-Resonator. Hierbei ergeben sich wiederum die verschiedensten Ausführungsmöglichkeiten durch Kombination eines Tiefpaß-Birdcage-Resonators mit einem Tiefpaß-Birdcage-Resonator, oder eines Hochpaß-Birdcage-Resonators mit einem Tiefpaß-Birdcage-Resonator, oder eines Bandpaß-Birdcage-Resonators mit einem Tiefpaß-Birdcage-Resonator, oder eines Hochpaß-Birdcage-Resonators mit einem Hochpaß-Birdcage-Resonator, oder eines Hochpaß-Birdcage-Resonators mit einem Bandpaß-Birdcage-Resonator, oder eines Bandpaß-Birdcage-Resonators mit einem Bandpaß-Birdcage-Resonator. Andere Ausführungsmöglichkeiten des Crosscage-Resonators sind beispielsweise jegliche Kombinationen eines beliebigen Birdcage-Resonators mit einem TEM-Resonator oder eines TEM-Resonators mit einem TEM-Resonator verwenden. Hierbei spielt es keine Rolle, welcher der beiden Resonatoren baulich so verändert wird, daß er nur noch eine Eigenschwingung mit einer sinusförmigen Stromamplitudenverteilung der Periode  $2\pi$  besitzt.

**[0020]** Für manche Bauweisen kann es vorteilhaft sein, bei der gleichphasig schwingenden Eigenschwingung ebenfalls einen der beiden Resonatoren baulich so zu verändern, daß seine Eigenschwingung mit einer sinusförmigen Stromamplitudenverteilung der Periode  $2\pi$  in dieser Richtung unterdrückt wird. Daraus resultiert, daß jeder der beiden Resonatoren jeweils nur noch eine Eigenschwingung mit einer sinusförmigen Stromamplitudenverteilung der Periode  $2\pi$  besitzt, und die Resonatoren sind so angeordnet, daß diese Eigenschwingungen azimuthal um  $90^\circ$  verdreht sind.

**[0021]** Bei manchen Bauweisen ist es erstrebenswert, den Aufwand für die Unterdrückung einer Eigenschwingung möglichst gering zu halten. Dies kann zum Beispiel dadurch erreicht werden, daß in einem oder beiden Resonatoren Endringsegmente verändert werden. Dies kann sowohl durch elektrische als auch durch mechanische Modifikation geschehen. Mit einer oder mehreren elektrisch angesteuerten Dioden läßt sich beispielsweise eine Resonatoreigenschwingung unterdrücken. Beispiele für eine mechanische Veränderung sind das Auftrennen von Endringsegmenten oder das Weglassen eines oder mehrerer Kondensatoren.

**[0022]** In manchen NMR-Experimenten wird angestrebt, die Eigenfrequenz des Resonatorsystems innerhalb eines bestimmten Einstellbereichs während einer Meßreihe zu verändern und anzupassen. In der Vorrichtung zur Erzeugung des magnetischen Wechselfeldes sind dafür Bauteile eine mögliche Lösung, deren Impedanz einstellbar ist. Insbesondere eignen sich hierfür Kondensatoren mit mechanisch einstellbarer Kapazität oder auch Dioden mit elektrisch einstellbarer Impedanz. Verschiedene Mechanismen können auch kombiniert werden. Eine weitere Möglichkeit zur Veränderung der Eigenfrequenzen des Systems ist auch, daß einzelne Impedanzen lösbar mit dem System verbunden sind.

**[0023]** In vielen Anwendungen weicht die Geometrie, die durch das Meßobjekt vorgegeben wird, von der eines Kreiszylinders ab. Hier ist es vorteilhaft, die Grundfläche des Zylinders, auf dem die axialen Leitungen verlaufen, der Geometrie des Meßobjektes anzupassen, um eine möglichst effektive Umschließung des Meßobjektes zu erreichen und den Füllfaktor zu erhöhen. Die Grundfläche kann deswegen

auch durch eine Ellipse, durch ein Rechteck oder auch jede andere ebene geschlossene Leitkurve gebildet werden. Infolge dieser Abweichung von der Geometrie des Kreiszylinders muß die azimutale Flächenstromdichte auf dem Zylindermantel dann nicht mehr eine sinusförmige Stromamplitudenverteilung der Periode  $2\pi$  approximieren, sondern vielmehr eine entsprechende, geeignete andere Stromamplitudenverteilung der Periode  $2\pi$ .

**[0024]** Aufgrund der geometrischen Gegebenheiten der Meßanordnung kann es mitunter auch vorteilhaft sein, daß die Grundflächen der jeweiligen Zylinder der beiden Resonatoren verschieden sind. Ein weiterer erwünschter Effekt einer solchen Anordnung kann auch die dadurch modifizierbare kapazitive und magnetische Kopplung zwischen den Eigenschwingungen der beiden Resonatoren sein. Diese Änderung in der Kopplung beeinflußt zum Beispiel die Amplitude, mit der ein Resonator bei der Resonanzfrequenz des anderen Resonators mitschwingt.

**[0025]** Um die Kopplung zwischen den Resonatoren weiter beeinflussen zu können, ist es auch denkbar, die Grundflächen der beiden Zylinder verschieden groß zu machen. Hierdurch können mitunter auch Probleme bezüglich der Unterbringung von weiteren Meß- und Versorgungseinrichtungen wie EKG-Triggerung oder Atemluft gelöst werden.

**[0026]** Die Untersuchung von größeren Meßobjekten bringt es häufig mit sich, daß nur ein Teil des Objektes untersucht werden soll. Es ist dann von Vorteil für die Meßempfindlichkeit, wenn die Resonatoren möglichst dicht am Meßobjekt angebracht sind. Hier kann es mitunter vorteilhaft sein, wenn eine oder beide Grundflächen eines oder beider Zylinder schräg abgeschnitten sind und die Resonatoren so dichter am Meßobjekt angebracht werden können.

**[0027]** Manchmal möchte man bei der Untersuchung von verschiedenen Atomkernen auch verschiedene Volumina untersuchen. Hierzu kann ein Resonator länger gebaut werden als der andere. Ein weiterer Effekt dieser Anordnung ist es, daß die kapazitive und die induktive Kopplung zwischen den einzelnen Resonatoren verändert werden kann. Hierdurch ist wiederum eine Beeinflussung der Stromamplitude der Eigenschwingung des einen Resonators möglich, mit der dieser bei der Eigenschwingung des anderen Resonators mitschwingt.

**[0028]** Mitunter ist für die verschiedenen zu messenden Atomkernsorten eine unterschiedliche minimale Homogenität des magnetischen Wechselfeldes von Nöten. Es ist daher auch möglich, eine verschiedene Anzahl an axialen Leitungen für die beiden Resonatoren zu verwenden.

**[0029]** Es kann konstruktionstechnisch notwendig sein, einzelne oder mehrere axiale Leitungen zu versetzen, so daß ihre Anordnung auf dem Zylindermantel azimutal nicht mehr äquidistant ist.

**[0030]** Die Beschreibung soll anhand von Zeichnungen, die ein spezielles Ausführungsbeispiel des Crosscage-Resonators enthalten, verdeutlicht werden. Es zeigen

**[0031]** Fig. 1 das elektrische Schaltbild eines konventionellen Birdcage-Resonators, dessen zwei Endringe durch (hier beispielhaft acht) Beine verbunden sind, wobei jedem Endringsegment und jedem Bein jeweils eine Impedanz  $Z_{ij}$  zugeordnet ist,

**[0032]** Fig. 2 einen konventionellen Hochpaß-Birdcage-Resonator, bei dem nur die Impedanzen in den Endringsegmenten Kapazitäten enthalten,

**[0033]** Fig. 3 einen konventionellen Tiefpaß-Birdcage-Resonator, bei dem nur die Impedanzen in den Beinen Kapazitäten enthalten,

**[0034]** Fig. 4 einen konventionellen Bandpaß-Birdcage-Resonator, bei dem sowohl die Impedanzen in den Endringsegmenten als auch die Impedanzen in den Beinen Kapazi-

täten enthalten.

**[0035]** Fig. 5 zwei Ausführungsbeispiele für einen TEM-Resonator mit acht Beinen, wobei die Kapazitäten jeweils in den Beinen enthalten sind und die Induktivitäten der Beine als gestreckte Leiter dargestellt sind.

**[0036]** Fig. 6 das Ersatzschaltbild eines Crosscage-Resonators, bestehend aus einem Hochpaß-Birdcage-Resonator und einem Tiefpaß-Birdcage-Resonator mit je acht Beinen, wobei die Endringe des Hochpaß-Birdcage-Resonators unterbrochen sind, um dessen eine Eigenschwingung zu unterbrechen und

**[0037]** Fig. 7 den Crosscage-Resonator der Fig. 6, wobei sowohl der Tiefpaß-Birdcage-Resonator als auch der Hochpaß-Birdcage-Resonator parallele Grundflächen haben, die Kreisflächen sind.

**[0038]** Fig. 1 zeigt das elektrische Ersatzschaltbild eines konventionellen Birdcage-Resonators. Der Birdcage-Resonator besteht aus zwei Endringen (1, 2) und acht Beinen (3), wobei die Anzahl der Beine nicht auf acht festgelegt ist. Jedes Endringsegment und jedes Bein eines Birdcage-Resonators besitzt eine für dieses Element spezifische Impedanz  $Z_{ij}$  ( $i = 1, 2, 3$ ;  $j = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$ ), die in der Regel aus Induktivitäten und Kapazitäten, prinzipiell aber auch aus anderen Bauteilen gebildet werden können.

**[0039]** Fig. 2 zeigt einen konventionellen Hochpaß-Birdcage-Resonator mit acht Beinen. Die axialen verlaufenden Beine (3) sind auf dem Mantel eines Kreiszylinders äquidistant angeordnet. Die Endringe (1, 2) sind parallel angeordnet und jedes Endringsegment enthält eine Kapazität ( $C_{11} \dots C_{28}$ ). Die für die elektromagnetische Eigenschwingung nötigen Induktivitäten werden hier durch die gestreckten Leitungen in den Beinen und Endringen gebildet.

**[0040]** Fig. 3 zeigt einen konventionellen Tiefpaß-Birdcage-Resonator mit acht Beinen. Die axial verlaufenden Beine (3) sind auch hier auf dem Mantel eines Kreiszylinders äquidistant angeordnet und durch parallele Endringe (1, 2) verbunden. Im Gegensatz zum Hochpaß-Birdcage-Resonator enthält beim Tiefpaß-Birdcage-Resonator jedes Bein eine Kapazität ( $C_{31} \dots C_{38}$ ). Die für die elektromagnetische Eigenschwingung nötigen Induktivitäten werden hier ebenfalls durch die gestreckten Leitungen in den Beinen und Endringen gebildet.

**[0041]** Fig. 4 zeigt einen konventionellen Bandpaß-Birdcage-Resonator mit acht Beinen. Die axial verlaufenden Beine (3) sind auch hier auf dem Mantel eines Kreiszylinders äquidistant angeordnet und durch parallele Endringe (1, 2) verbunden. Beim konventionellen Bandpaß-Birdcage-Resonator enthält jedes Bein und jedes Endringsegment eine Kapazität. Die für die elektromagnetische Eigenschwingung nötigen Induktivitäten werden hier ebenfalls durch die gestreckten Leitungen in den Beinen und Endringen gebildet.

**[0042]** Fig. 5 zeigt zwei Beispiele für einen TEM-Resonator mit acht Beinen. Zur Verbesserung der Übersichtlichkeit der Zeichnung wurde der aufgeschnittene TEM-Resonator dargestellt. Der in Fig. 5a abgebildete TEM-Resonator besteht insgesamt aus einem leitenden Zylindermantel (6) mit parallelen, kreisförmigen Grundflächen, zwei damit leitend verbundenen, leitenden Ringen (4, 5) und aus damit verbundenen Beinen (3), die äquidistant auf einem ebenfalls kreisförmigen Zylinder angeordnet sind und die die Kapazitäten ( $C_{31} \dots C_{38}$ ) enthalten. Die gestreckten Leitungen in den Beinen bilden Induktivitäten. Die beiden Endringe (4, 5) und der leitende Zylinder (6) haben jeweils eine induktiv dominierte Impedanz. Die Enden jedes Beines werden über die Endringe und den leitenden Zylinder miteinander verbunden. Dadurch stehen die Beine auch untereinander in galvanischem Kontakt. Dieser galvanische Kontakt ist zur Funktion des TEM-Resonators nicht zwingend erforderlich, d. h.

die Verbindungen aller Beine brauchen nicht notwendigerweise über einen gemeinsamen leitenden Zylinder und gemeinsame Bänder erfolgen, sondern die Enden jedes Beines (3) können auch durch Leitungen (7, 8) verbunden sein, die von den Verbindungsleitungen anderer Beine galvanisch getrennt sind. Dies ist in **Fig. 5b** dargestellt. Zur besseren Übersichtlichkeit der Zeichnung ist wiederum nur ein Teil der Leitungen und Kondensatoren abgebildet.

**[0043]** **Fig. 6** zeigt eine Möglichkeit auf, wie ein Crosscage-Resonator konstruiert werden kann. Der im elektrischen Ersatzschaltbild abgebildete Crosscage-Resonator besteht aus einem Hochpaß-Birdcage-Resonator und einem Tiefpaß-Birdcage-Resonator. Die beiden Birdcage-Resonatoren besitzen in diesem Beispiel jeweils acht Beine (3). Die Resonanzfrequenz des Hochpaß-Birdcage-Resonators wird im wesentlichen durch die Kondensatoren  $C_{11}^{1} \dots C_{27}^{1}$  in den Ringen eingestellt. Die Resonanzfrequenz des Tiefpaß-Birdcage-Resonators wird im wesentlichen durch die Kondensatoren  $C_{31}^{2} \dots C_{38}^{2}$  in den Beinen eingestellt. Der Hochpaß-Birdcage-Resonator und der Tiefpaß-Birdcage-Resonator sind zwar galvanisch nicht verbunden, dennoch koppeln die beiden Resonatoren über Gegeninduktivitäten und Streukapazitäten. Diese Gegeninduktivitäten und Streukapazitäten sind im Ersatzschaltbild nicht dargestellt. Sie beeinflussen die Eigenschwingung und die Eigenfrequenz des Crosscage-Resonators. In den beiden Endringen des Hochpaß-Birdcage-Resonators wurden die Endringsegmente mit den Kapazitäten  $C_{14}^{1}, C_{24}^{1}, C_{18}^{1}, C_{28}^{1}$  entfernt, um eine Eigenschwingung des Hochpaß-Birdcage-Resonators zu unterbinden. In den **Fig. 6a** und **6b** sind der Hochpaß-Birdcage-Resonator und der Tiefpaß-Birdcage-Resonator, die zusammen den Crosscage-Resonator in **Fig. 6** bilden, getrennt dargestellt. Die Ströme, die bei der jeweils genutzten Eigenschwingung in den Beinen fließen, sind durch Pfeile gekennzeichnet. Dabei bedeuten zwei Pfeilspitzen stärkere Ströme, eine Pfeilspitze steht für eine schwächere Stromstärke. Die Orientierung des jeweils erzeugten magnetischen Wechselfeldes ist bezüglich der azimuthalen Richtung durch einen Pfeil im Zentrum angedeutet.

**[0044]** In **Fig. 7** ist der Crosscage-Resonator aus **Fig. 6** in perspektivischer Ansicht dargestellt. Für eine bessere Übersichtlichkeit besitzen der Hochpaß-Birdcage und der Tiefpaß-Birdcage unterschiedliche Zylinderdurchmesser und unterschiedliche Längen entlang der hier gemeinsamen Zylinderachse.

**[0045]** Insgesamt erhält man ein Spinresonanzmeßgerät, in dem näherungsweise homogene magnetische Wechselfelder zweier unterschiedlicher Frequenzen unabhängig voneinander und auch gleichzeitig erzeugt werden können. Die drei erzeugten Magnetfelder, nämlich das statische Magnetfeld und die beiden magnetischen Wechselfelder, sind senkrecht zueinander ausgerichtet. Hauptanwendungsgebiet ist die Kernspinresonanz.

#### Patentansprüche

1. Spinresonanzmeßgerät zur Erzeugung eines zu einem statischen Magnetfeld senkrechten magnetischen Wechselfeldes mit zwei elektromagnetischen Eigenfrequenzen, wobei in Längsrichtung des statischen Magnetfeldes auf zwei coaxialen Kreiszyklindermänteln axial verlaufende, azimuthal äquidistante Leitungen (3) flächige Wechselströme der Eigenfrequenzen als stehende Wellen mit über den Azimut sinusförmigen Amplitudenverteilungen der Periode  $2\pi$  approximieren, wobei an den Grundflächen der Zylinder zwischen den axialen Leitungen Verbindungsleitungen (1, 2) angeordnet sind und/oder die Enden der axialen Leitungen

durch Verbindungsleitungen (4, 5, 7) mit weiteren, ebenfalls axial verlaufenden Leitungen (6, 8) verbunden sind, sowie in einigen oder auch in allen Leitungen und/oder Verbindungsleitungen Impedanzen eingebaut sind, **dadurch gekennzeichnet**, daß

- mehr als vier axial verlaufene Leitungen vorhanden sind, wobei beide resonanten Systeme die gleiche Anzahl von axialen Leitungen enthalten,
- ein Teil der Impedanzen zusammen mit den Leitungen und/oder Verbindungsstücken des ersten Zylinders ein resonantes System für die erste Eigenfrequenz bildet, wobei die Impedanzen dieses resonanten Systems derart verändert sind, daß eine zur Eigenschwingung äquivalente, orthogonale Eigenschwingung unterdrückt wird,
- ein Teil der Impedanzen zusammen mit den Leitungen und/oder Verbindungsstücken des zweiten Zylinders ein resonantes System für die zweite Eigenfrequenz bildet, wobei dieses System zwei äquivalente, orthogonale Eigenschwingungen besitzt.

2. Spinresonanzgerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden resonanten Systeme aus beliebigen Kombinationen von TEM-Resonator, Tiefpaß-Birdcage-Resonator, Hochpaß-Birdcage-Resonator und Bandpaß-Birdcage-Resonator bestehen.
3. Spinresonanzgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Impedanzen in beiden resonanten Systemen derart verändert sind, daß bei beiden Eigenfrequenzen die zu je einer Eigenschwingung äquivalente, orthogonale Eigenschwingung unterdrückt wird, wobei die verbleibenden Eigenschwingungen unterschiedliche Eigenfrequenzen haben und zueinander orthogonal sind.
4. Spinresonanzgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Unterdrückung der einen Eigenschwingung durch elektrische und/oder mechanische Veränderung von Verbindungsstücken realisiert wird.
5. Spinresonanzgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest ein Teil der Impedanzen durch Kondensatoren gebildet ist.
6. Spinresonanzgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest ein Teil der Impedanzen durch Spulen gebildet ist.
7. Spinresonanzgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine Impedanz veränderbar ist.
8. Spinresonanzgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Grundflächen der beiden Zylinder keine Kreisflächen sind.
9. Spinresonanzgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Grundflächen der beiden Zylinder in ihrer Form verschieden sind.
10. Spinresonanzgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Grundflächen der beiden Zylinder in ihrer Größe verschieden sind.
11. Spinresonanzgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Grundflächen eines oder beider Zylinder nicht parallel, das heißt, daß mindestens eine oder auch alle Grundflächen der Zylinder schräg abgeschnitten sind.
12. Spinresonanzgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Längen der beiden Zylinder verschieden sind.



13. Spinresonanzgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Zahl der axial verlaufenden Leitungen der beiden resonanten Systeme unterschiedlich ist.

14. Spinresonanzgerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die axial verlaufenden Leitungen eines oder auch beider resonanten Systeme azimuthal nicht äquidistant angeordnet sind.

5

10

---

Hierzu 9 Seite(n) Zeichnungen

---

15

20

25

30

35

40

45

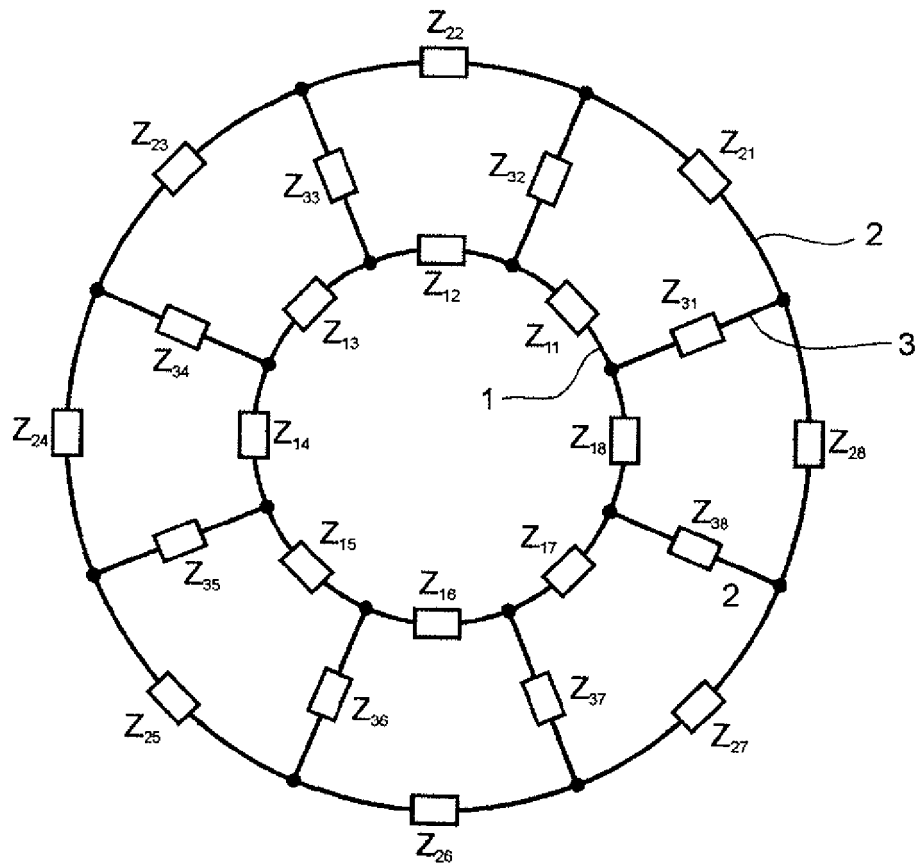
50

55

60

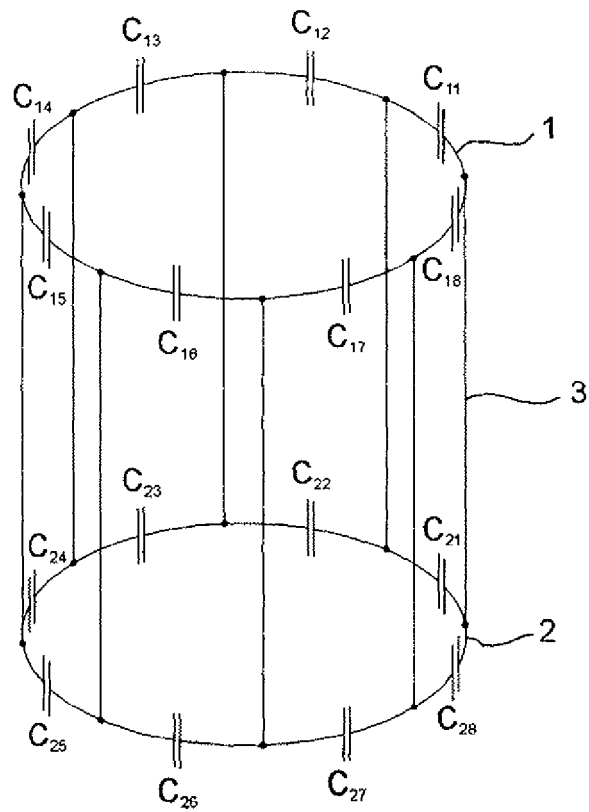
65

## Stand der Technik



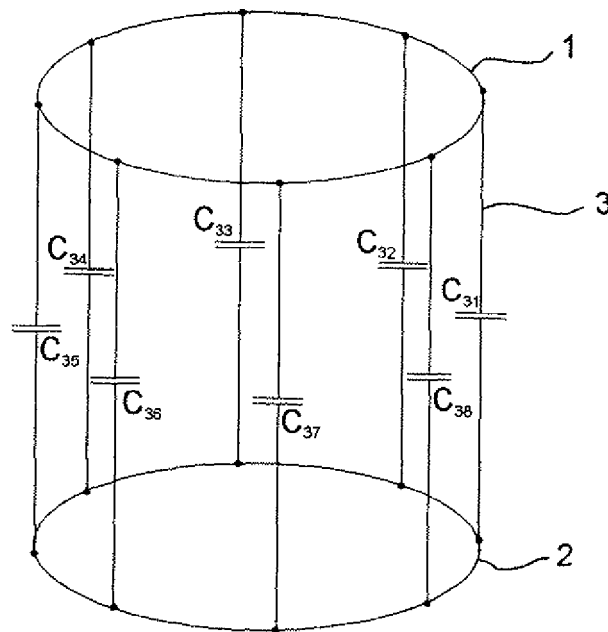
Figur 1

Stand der Technik



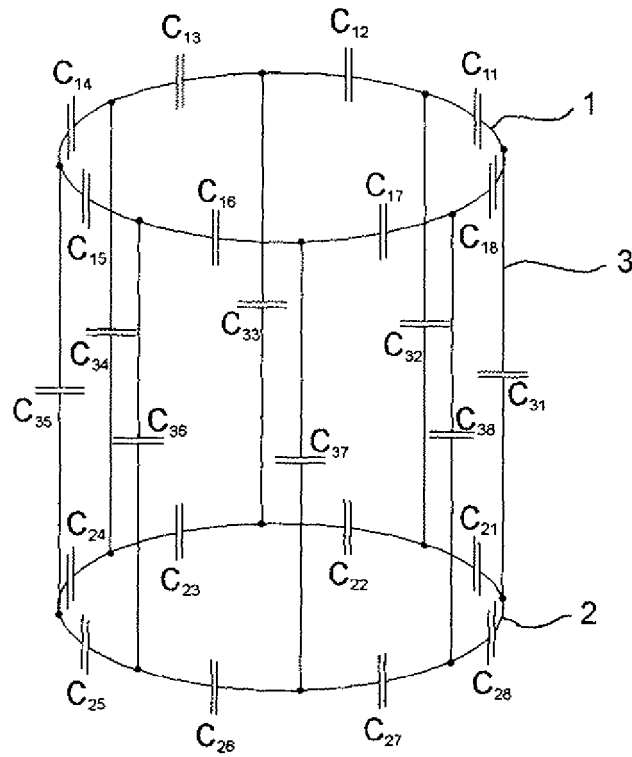
Figur 2

Stand der Technik



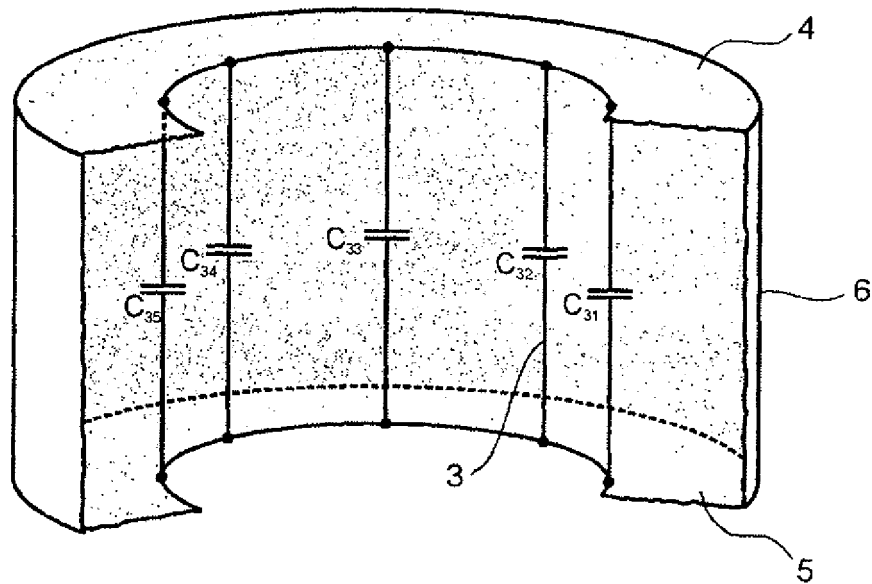
Figur 3

## Stand der Technik

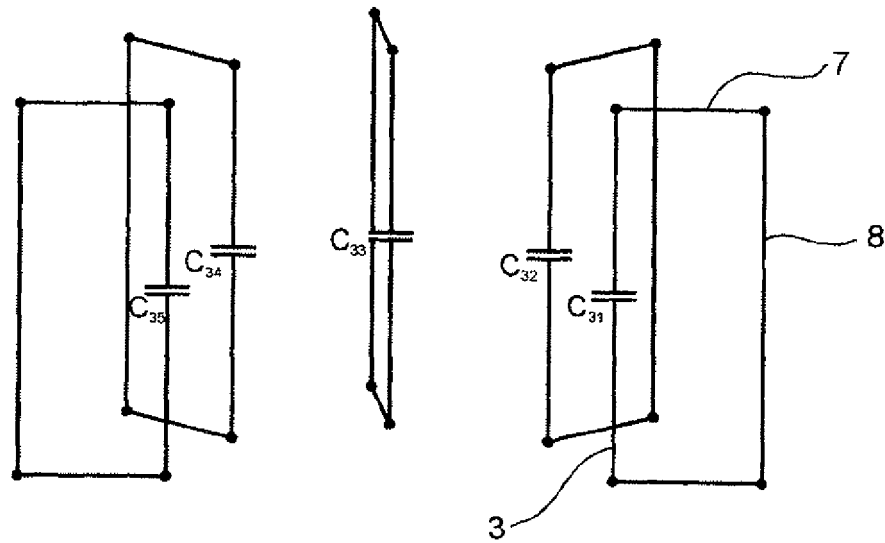


Figur 4

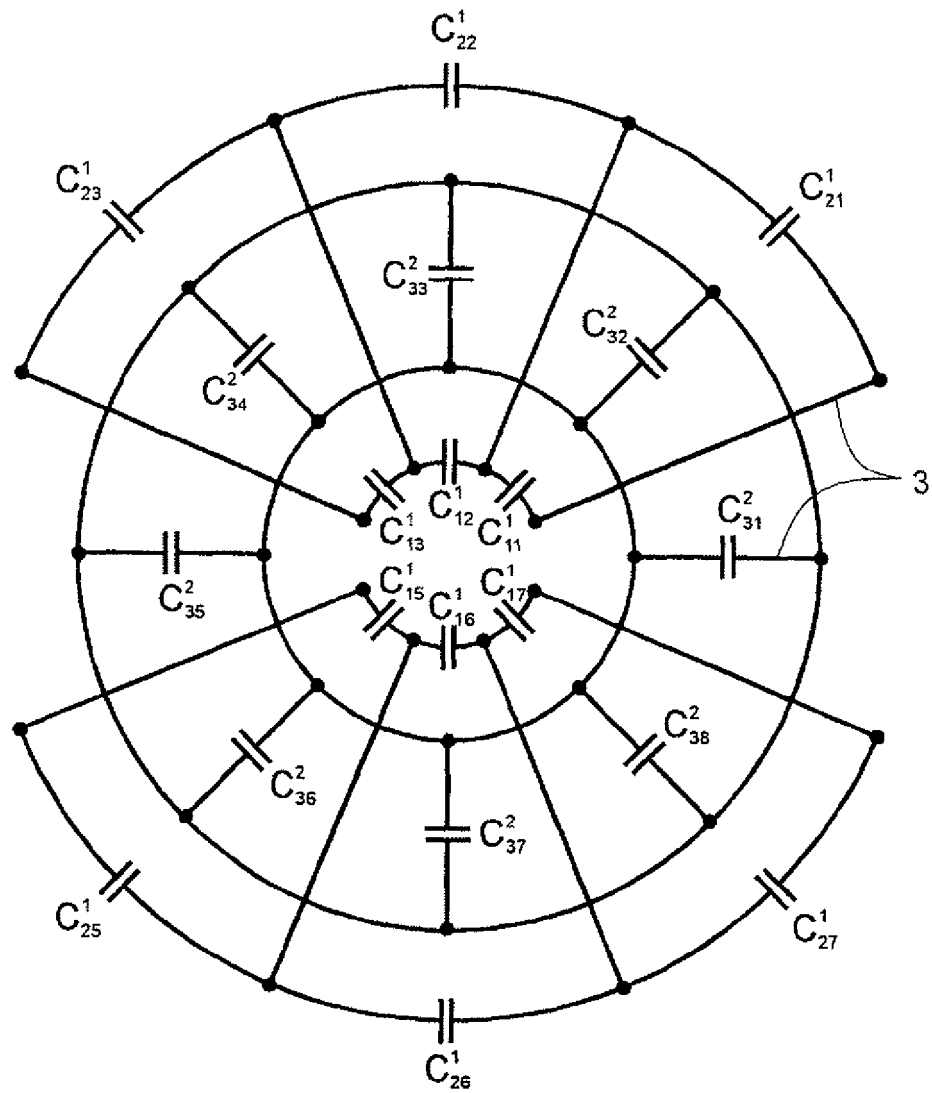
## Stand der Technik



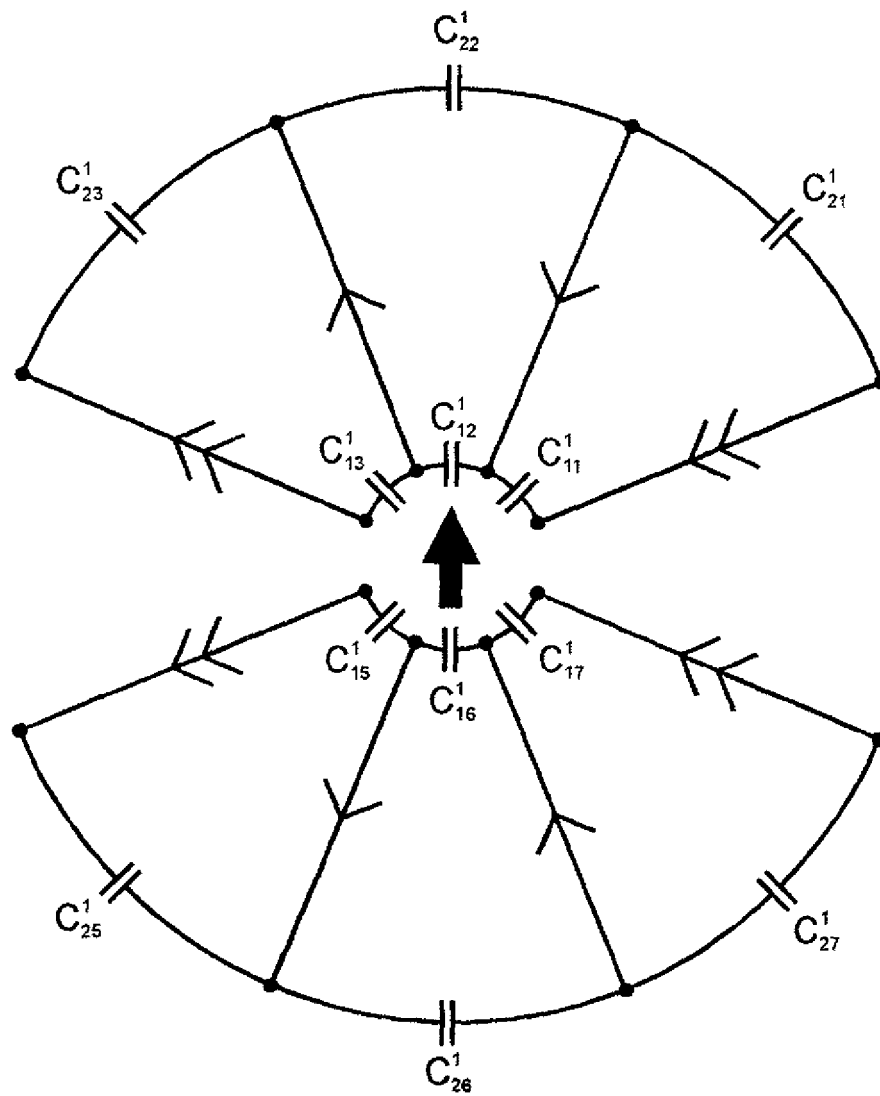
Figur 5a



Figur 5b

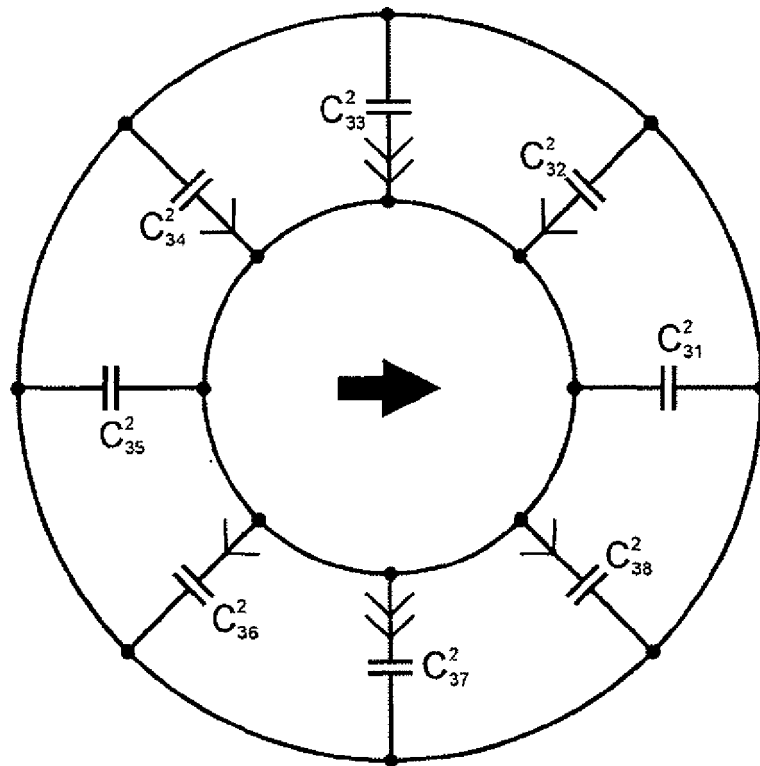


Figur 6



Figur 6a





Figur 6b

